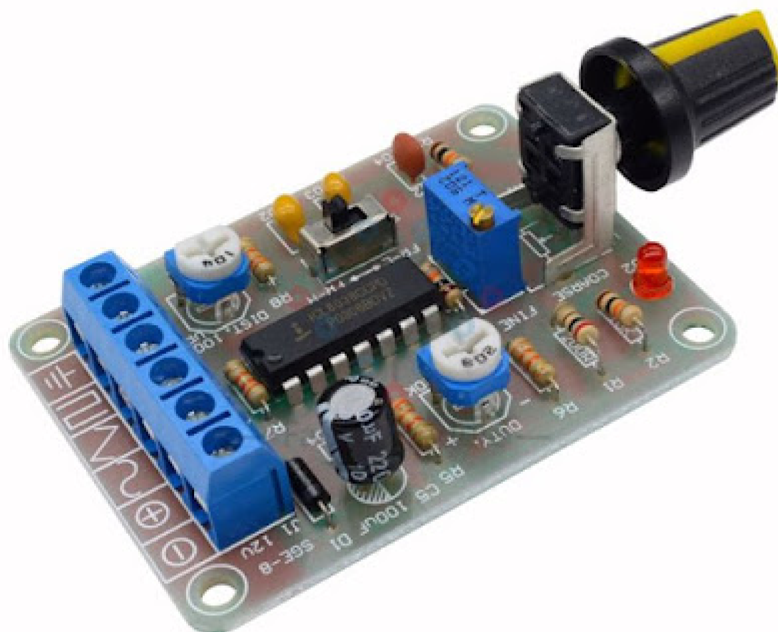
ICL8038 functiegenerator IC

Naast de XR2206 is de ongeveer even oude ICL8038 hét IC waarmee de hobby-elektronicus gemakkelijk functiegeneratoren en toonproducerende schakelingen maakt. Voor een paar euro koopt u in China een bouwpakketje met alle basisonderdelen om met dit IC te experimenteren.

Auteur: Jos Verstraten, Landgraaf, Nederland
Email: josverstraten@live.nl
Publicatiedatum: 17-01-2019

Kennismaking met de ICL8038

Obsolete, maar nog steeds te koop
Dit IC werd omstreeks 1983 door Intersil ontwikkeld en werd een enorm succes. Diverse andere halfgeleiderfabrikanten, zoals Harris Corporation, leverden deze chip als second source. Hoewel Intersil in 2002 gestopt is met de fabricage van dit IC zijn er blijkbaar nog enorme voorraden aanwezig en dus te koop. U kunt één IC bij AliExpress kopen voor € 0,32, waarbij er wél € 0,79 verzendingkosten worden berekend. Het onderstaand bouwpakketje, waarmee u met deze chip kunt experimenteren, bestelt u bij AliExpress voor ongeveer € 2,50 inclusief verzending.

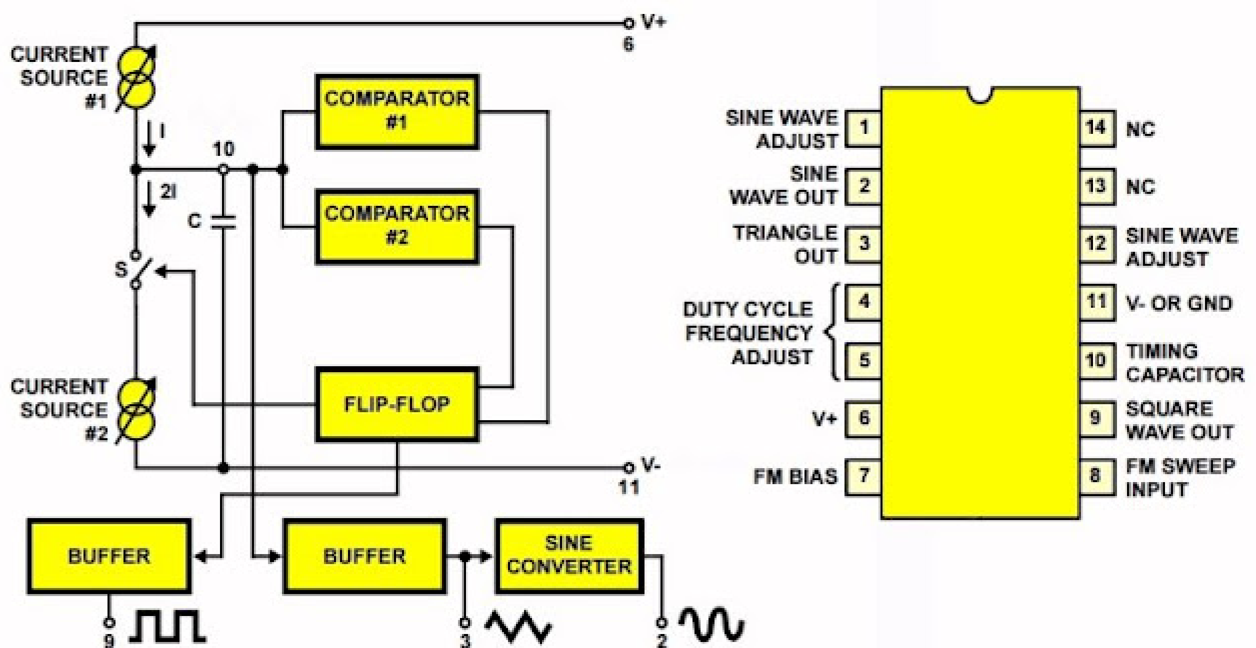


Voor € 2,50 krijgt u dit bouwpakketje in huis en kunt u met de ICL8038 gaan stoeien. (© Fancy Module)

Wat is de ICL8038?
Het IC is een functiegenerator-chip met drie afzonderlijke uitgangen waarop keurig sinussen, driehoeken en blokken ontstaan. Het IC heeft twee ingangen voor het bepalen van de laad- en ontlaadstromen van de timingcondensator, een aansluiting voor deze condensator en twee pennen voor het minimaliseren van de vervorming op de sinus. Het doorgronden van de werking van deze functiegenerator is dus een fluitje van een cent, maar het is natuurlijk wel zo dat deze eenvoud gaat ten koste van het aantal mogelijkheden.

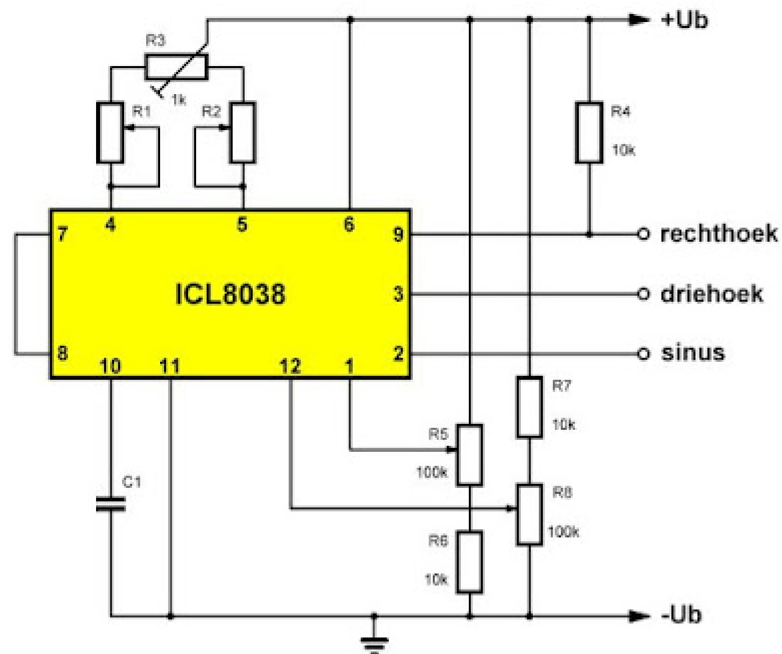
Daarnaast heeft de ICL8038 als nadeel dat het frequentiebereik maar tot ongeveer 300 kHz loopt maar wel met een maximale afgeregelde vervorming van slechts 0,8 % op de sinus.

Het intern blokschema en de aansluitgegevens
Het intern blokschema is getekend in de onderstaande figuur, waar u rechts ook de aansluitgegevens ziet met enige nog niet besproken extra pennen.



Intern blokschema en aansluitgegevens van de ICL8038. (© Harris Semiconductor)

Het basisschema rond de ICL8038
Het basisschema rond de ICL8038 is getekend in de onderstaande figuur. De frequentie van de uitgangssignalen wordt ingesteld met behulp van de stereo-potentiometer R1 en R2 en de condensator C1. De waarde van de frequentie kan wiskundig omschreven worden door de uitdrukking:
f = 0,3 / R ● C
met als eenheden Hz, Ω en F en waarbij R de waarde is van een van de potentiometers R1 of R2. Door middel van de kleine instelpotentiometer R3 van 1 kΩ kunt u de duty-cycle precies op 50 % instellen, zodat er een mooie symmetrische sinus uit de generator komt. De waarde van de condensator is niet kritisch, u kunt zonder meer elco's gebruiken in de laagste frequentiebereiken. De positieve pool van de elco moet dan wel met pen 10 verbonden worden.
De stroom die u via de weerstanden R1, R2 en R3 in de pennen 4 en 5 stuurt mag niet kleiner zijn dan 1 µA en niet groter dan 5 mA. In de praktijk wordt aanbevolen de stroom niet buiten de grenzen 10 µA en 1 mA te berekenen. In ieder geval geeft dit toch nog een frequentiebereik van 1 op 100, bijvoorbeeld van 20 Hz tot 2 kHz met één condensator!
U kunt de vervorming op de sinus minimaliseren met de twee instelpotentiometers R5 en R8 van 100 kΩ. Het afregelen op minimale vervorming is echter een tijdrovende zaak, omdat beide instellingen elkaar wederzijds beïnvloeden en u de potentiometers dus diverse malen moet trimmen.
Pen 8 is een ingang waarmee u eventueel frequentiemodulatie kunt toepassen. Maakt u geen gebruik van deze mogelijkheid, dan moet u pen 8 rechtstreeks verbinden met pen 7, waarop een interne instelspanning staat.



Het basisschema rond de ICL8038. (© 2020 Jos Verstraten)

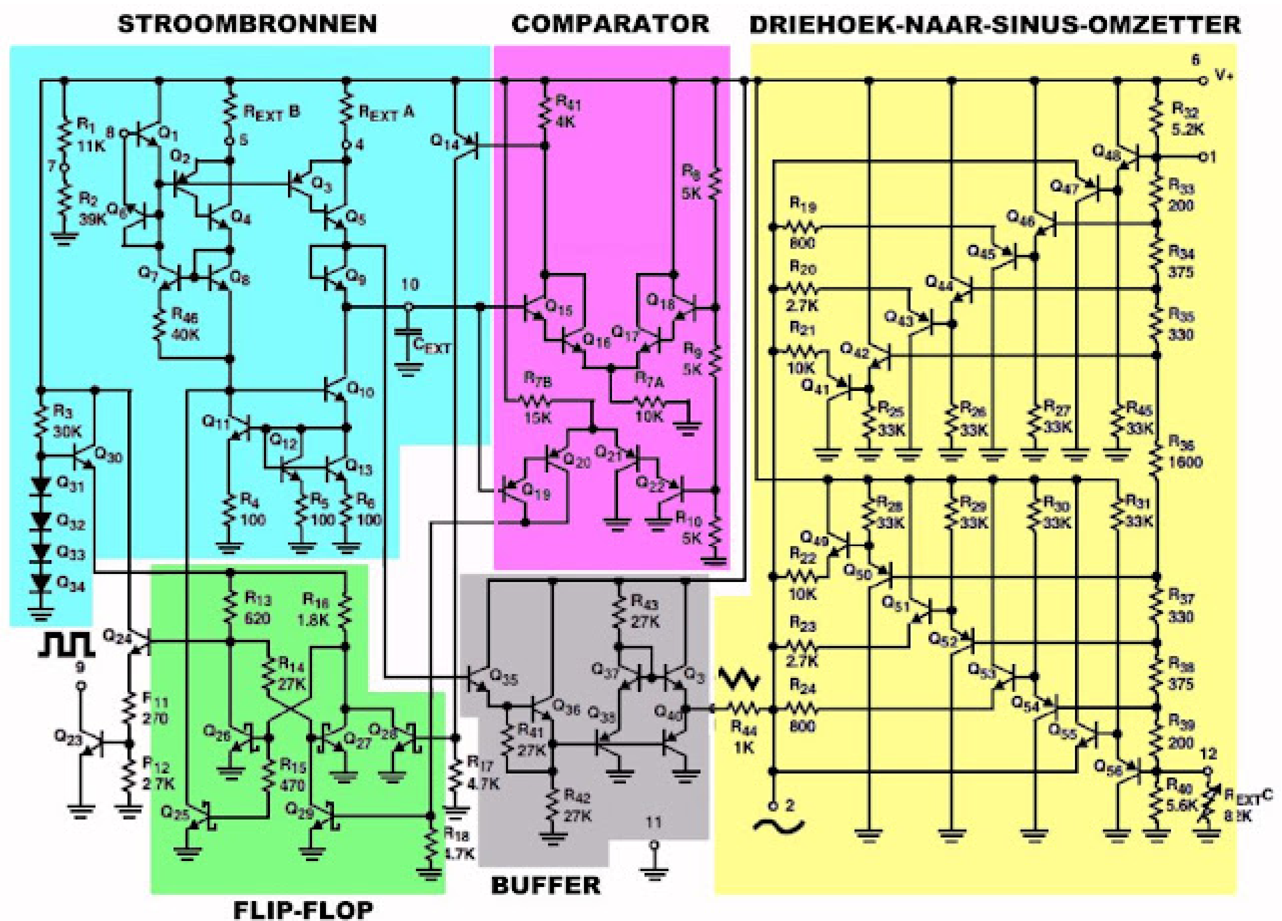
U kunt het IC zowel uit een enkelvoudige spanning als uit twee symmetrische voedingsspanningen voeden. In het eerste geval ligt de gemiddelde waarde van de drie uitgangsspanningen precies op de helft van de voedingsspanning. In het tweede geval is de gemiddelde waarde van de drie uitgangen 0 V, zodat u mooie symmetrische uitgangssignalen krijgt die u zonder koppelcondensatoren verder kunt verwerken. Het zal duidelijk zijn dat het gebruik van symmetrische voedingsspanningen wordt aanbevolen! Het ontwerpen rond de ICL8038 wordt er een stuk eenvoudiger door.

Specificaties van de ICL8038
De ICL8038 werd in drie kwaliteitsklassen geleverd. De beste uitvoering was de ICL8038AC, met de onderstaande specificaties.

- **Voedingsspanning:** ±5 V minimaal, ±15 V maximaal
- **Voedingsstroom:** ±20 mA maximaal
- **Frequentiestabiliteit:** 0,05 %/V voedingsspanningsvariatie, 250 ppm/°C maximaal
- **Frequentiebereik:** 0 Hz tot 300 kHz typisch
- **Uitgangsspanning sinus:** 0,22 ● voedingsspanning
- **Uitgangsspanning driehoek:** 0,33 ● voedingsspanning
- **Vervorming op sinus:** 1,5 % maximaal bij 100 kHz, 0,8 % bij goede afregeling
- **Niet-lineariteit van driehoek:** ±0,05 % maximaal bij 10 kHz
- **Stijgtijd pen 9:** 180 ns typisch bij 4,7 kΩ
- **Daaltijd pen 9:** 40 ns typisch bij 4,7 kΩ
- **Asymmetrie bij R1 = R2:** 0,05 % typisch
- **Bereik van de duty-cycle regeling:** 2 % tot 98 %
- **Bereik van de frequentiemodulatie:** 35 op 1 typisch
- **Vervorming op de frequentiemodulatie:** 0,2 % typisch

Een functiegenerator die sinussen, driehoeken en blokken genereert van 1 Hz tot 300 kHz is in het hobby laboratorium een heel nuttig instrument. Bovendien is een dergelijke functiegenerator door iedere hobbyist zonder problemen rond een ICL8038 op te bouwen.

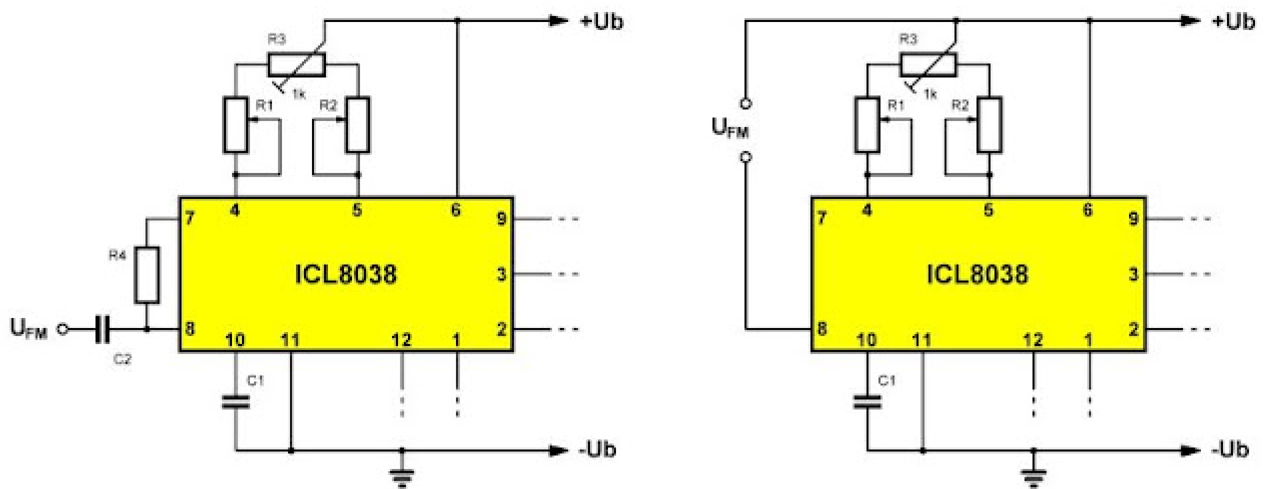
Volledig intern schema van de ICL8038
Voor wie er in geïnteresseerd is geven wij in de onderstaande figuur het volledig intern schema van de ICL8038. De diverse blokken die in het blokschema staan zijn hier weergegeven tegen een gekleurde achtergrond.



Het intern schema van de ICL8038. (© 2020 Jos Verstraten/Intersil)

Extra mogelijkheden van de ICL8038

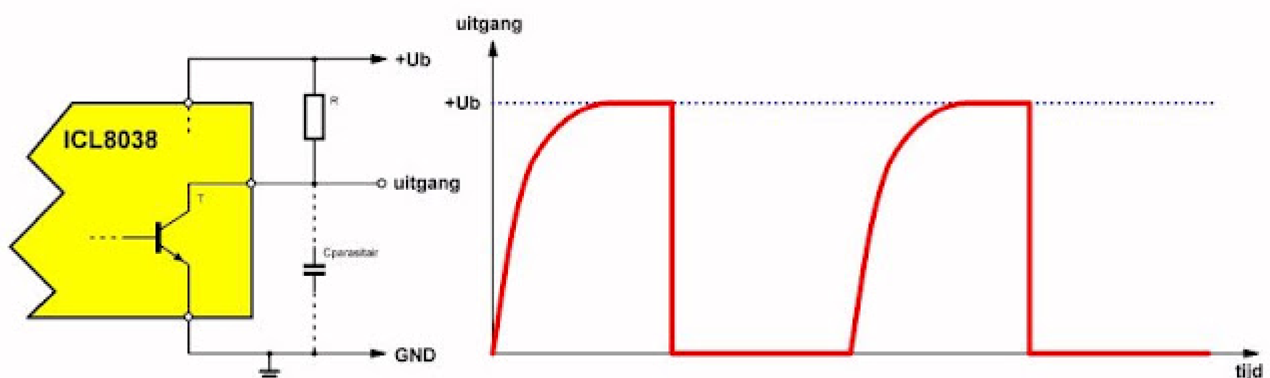
Toepassen van frequentiemodulatie
Bij frequentiemodulatie is het de bedoeling dat u de uitgangsfrequentie van de generator laat variëren door het aanleggen van een externe spanning. Op deze manier kunt u bijvoorbeeld een audio-schakeling snel *'sweepen'* door de frequentie die u aan de schakeling aanlegt te variëren tussen 20 Hz en 20 kHz.
In de onderstaande figuur zijn twee schema's getekend waarbij gebruik wordt gemaakt van de frequentiemodulatie ingang op pen 8. In het linker schema blijft pen 8 via een weerstand R4 verbonden met pen 7 en wordt op pen 8 via een scheidingscondensator C2 een modulatiespanning aangeboden. Met dit systeem kunt u echter maar maximaal ±10 % moduleren. In het rechter schema is een systeem getekend waarmee u over een breder gebied kunt moduleren. De modulatiespanning staat echter tussen de positieve voeding en pen 8 geschakeld en dus niet tussen deze pen en de massa. Als het spanningsverschil tussen de voeding en pen 8 nul is, stopt de schakeling met oscilleren. Met het getekende schema kunt u gemakkelijk over een bereik van 1 op 1.000 moduleren, waarbij de spanning op pen 8 kan dalen tot een derde van de voedingsspanning minus 2 V. Is de voedingsspanning dus 15 V, dan kan de spanning op pen 8 dalen tot 3 V. Op deze manier kunt u op een heel eenvoudige manier een sweepgenerator bouwen met een frequentiebereik van 20 Hz tot 20 kHz.



Twee manieren om frequentiemodulatie toe te passen bij de ICL8038.
(© 2020 Jos Verstraten)

Instellen van de duty-cycle
Door het variëren van de verhouding tussen de weerstanden R1 en R2 kunt u de duty-cycle van de uitgangspuls instellen tussen 1 % en 99 %. Dat betekent dus dat de ICL8038 is staat is zeer mooie zaagtanden en zeer smalle positieve en negatieve pulsjes te genereren. U moet zich hierbij echter wél aan de stroomgrenzen van 1 µA en 5 mA houden!

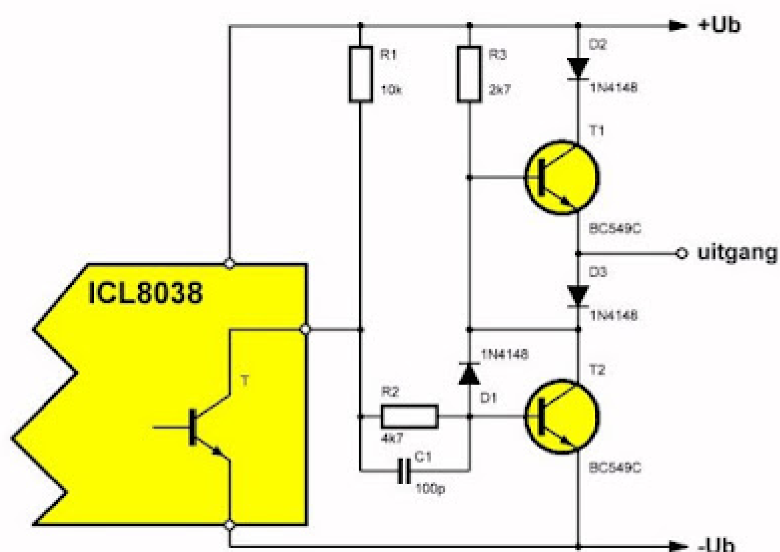
De rechthoek uitgang
De blokgolf uitgang op pen 9 heeft geen ingebouwde weerstand, is dus *'open-collector'* zoals dat officieel heet. U moet deze weerstand extern aanbrengen. Als u echter volgens het schema van de onderstaande figuur alleen een enkelvoudige collectorweerstand gebruikt, zal de stijgtijd van de opgewekte puls uitermate slecht worden. Dit wordt uiteraard veroorzaakt door de parasitaire capaciteit $C_{parasitair}$ die tussen de collector en de massa aanwezig is. Deze vormt met de collectorweerstand een laagdoorlaat filter dat alle hoge harmonischen in de blokgolf verzwakt.
Dit verschijnsel is zo erg, dat de 'normale' blokgolf uitgang niet meer bruikbaar is boven 10 kHz. De voorflank van de puls is zo breed dat er van het blokvormige signaal nauwelijks iets overblijft. Dit verschijnsel is gemakkelijk te verklaren. Als de interne transistor overschakelt van geleiden naar sper is de spanning op de uitgang nog nul volt. Omdat de transistor dan geen stroom trekt valt er ook geen spanning over de weerstand R en zou de uitgang opeens stijgen naar de waarde van de voedingsspanning. De condensator $C_{parasitair}$ is echter helemaal ontladen en gaat zich opladen uit de spanning op de uitgang. Dat laden gaat gepaard met een bepaalde stroom die door de condensator en de weerstand vloeit. Er valt dus tóch nog even spanning over de weerstand R. Naarmate de condensator zich oplaadt wordt de oplaadstroom kleiner en de spanningsval over de weerstand ook kleiner. Het gevolg is dat de spanning op de uitgang niet opeens stijgt naar de waarde van $+U_b$, maar met een bepaalde traagheid.



De oorzaak van de slechte blokgolf bij hogere frequenties. (© 2020 Jos Verstraten)

In de onderstaande figuur is een alternatieve schakeling getekend, die de ICL8038 omvormt

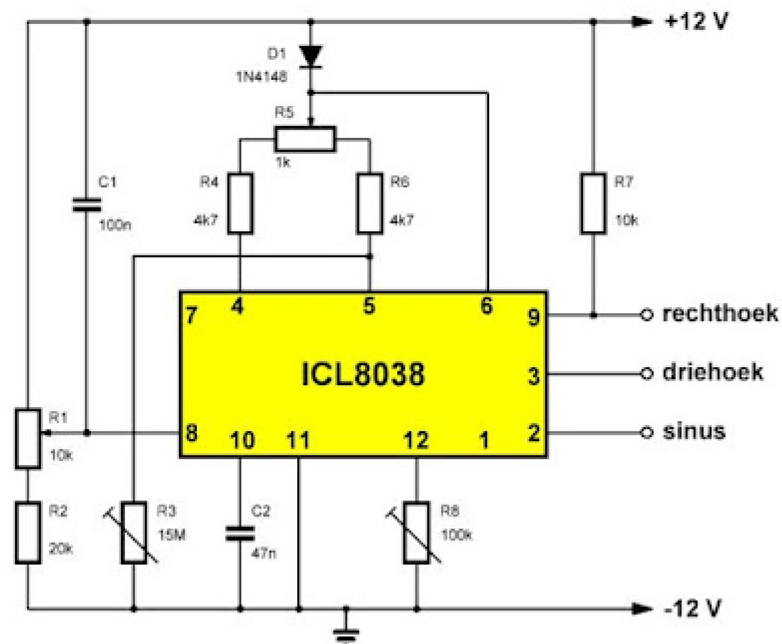
tot een uitstekende rechthoek generator. Jammer dat men deze kleine schakeling niet in het IC geïntegreerd heeft! De schakeling is ontleend aan de TTL-technologie en levert een mooi rechthoekvormig signaal met stijg- en daaltijden die slechts ongeveer 25 ns bedragen. De schakeling is in feite niets meer dan een elektronische omschakelaar, die de uitgang ofwel via een geleidende T1 doorverbindt met de positieve voedingsspanning ofwel via een geleidende T2 met de negatieve voedingsspanning. Door de aanwezigheid van C1 en D1 gaat dat omschakelen razendsnel.



Een snelle schakeltrap achter de ICL8038. (© 2020 Jos Verstraten)

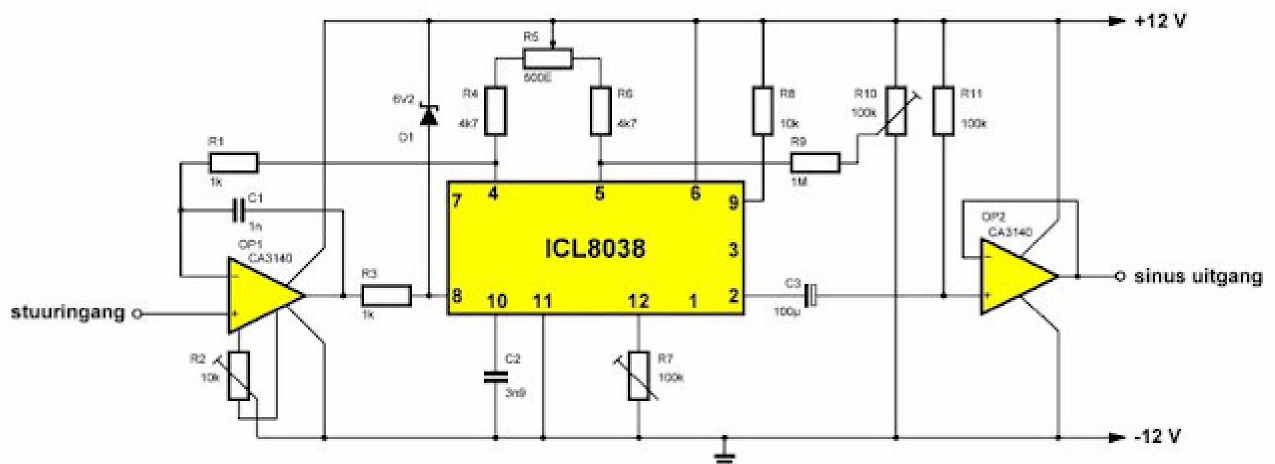
Voorbeeldschakelingen met de ICL8038

Eenvoudige sweepgenerator van 20 Hz tot 20 kHz
In de onderstaande figuur is het schema getekend van een eenvoudige sweepgenerator met een bereik van 20 Hz tot 20 kHz. De diode D1 zorgt ervoor dat de spanning op pen 8 positiever kan worden dan de spanningen over de stroombepalende weerstanden R4 en R6 van 4,7 kΩ en zelfs positiever dan de positieve voedíngsspanning van het IC. Dit is een voorwaarde als u dergelijke grote sweepbereiken wilt realiseren.
Hierbij moet wel worden opgemerkt dat de lineariteit van de schakeling heel slecht wordt als de spanning op de loper van de potentiometer R1 van 10 kΩ in de buurt van de positieve voedingsspanning komt. De interne sturing van de twee stroombronnen komt dan in het gedrang, waardoor deze niet goed meer werken. De grote instelpotentiometer R3 van 15 MΩ van pen 5 en de instelpotentiometer R5 van 1 kΩ moet u afregelen op een duty-cycle van 50 % bij 20 Hz en bij 20 kHz.
Omdat het bij dergelijke sweepgeneratoren niet erg belangrijk is of de sinus al dan niet vervormd is, werd bij dit schema slechts een enkele instelpotentiometer R8 tussen pen 12 en de negatieve voeding gebruikt om de vervorming te minimaliseren. Maar uiteraard kunt u ook hier de twee potentiometers van het basisschema toepassen.



Een eenvoudige sweepgenerator voor frequenties van 20 Hz tot 20 kHz.
(© 2020 Jos Verstraten)

Een zeer lineaire sweepgenerator
In de onderstaande figuur is een identieke schakeling getekend, maar met veel betere eigenschappen. Met name de lineariteit van de sweep is in hoge mate verbeterd. Bovendien kunt u deze schakeling sturen met een externe spanning in plaats van met een potentiometer, hetgeen natuurlijk veel meer mogelijkheden biedt. De lineariteitsverbetering is te danken aan de linker operationele versterker, die is opgenomen in de interne stroombronschakelingen van de ICL8038. Deze op-amp verzorgt een stroomtegenkoppeling, waardoor de stroombronnen ook goed worden gestuurd als de externe stuurspanning in de buurt van de positieve voedingsspanning komt.



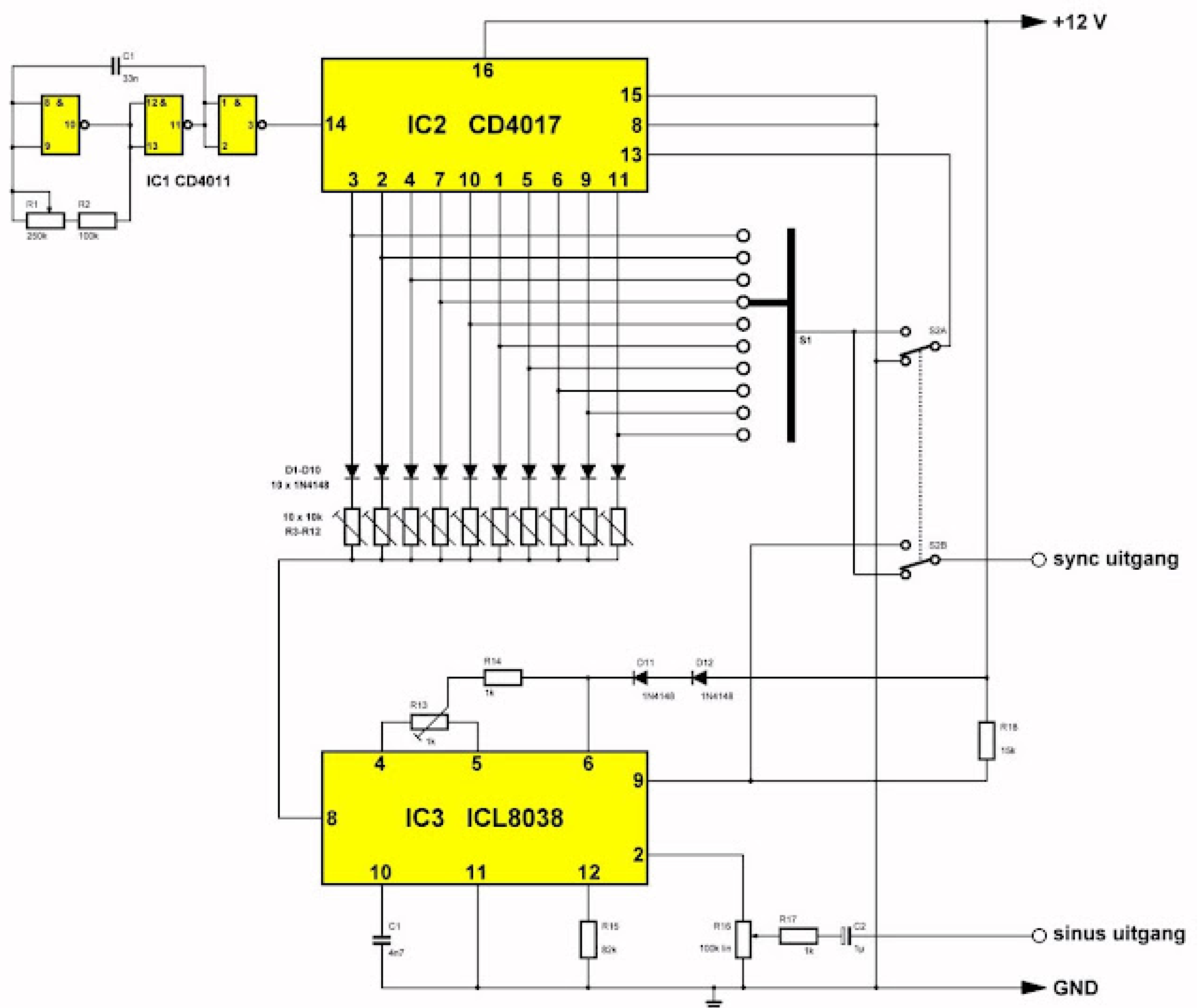
Een zeer lineaire sweepgenerator met een bereik van 20 Hz tot 20 kHz.
(© 2020 Jos Verstraten)

Een multi-burst generator
In de onderstaande figuur is een zogenoemde *'multi-burst'* generator getekend. Dat is een schakeling die snel achter elkaar groepen pulsjes met verschillende frequenties genereert. Voert u een dergelijk signaal naar een audio-filter en zet u de uitgang van het filter op de scoop, dan ontstaat een soort weergavekarakteristiek, waaruit u de frequentie-eigenschappen van het filter kunt afleiden.
De schakeling wordt gestuurd door een oscillator, samengesteld rond drie poorten van IC1, een CD4011. Deze oscillator werkt op een frequentie van ongeveer 100 Hz. Deze waarde is door middel van de potentiometer R1 van 250 kΩ enigszins bij te regelen, zodat u een mooi

stilstaand beeld op het scherm van uw scoop kunt krijgen. De uitgangspulsjes van de oscillator worden geteld door IC2, een CD4017. Dat is een tienteller met gedecodeerde uitgangen, hetgeen wil zeggen dat de decimale uitgangen 0 tot en met 9 een na een hoog worden op het ritme van de klokpulsen. Deze tien hoge uitgangen sturen nu stromen naar pen 8 van de ICL8038. De grootte van deze stromen is instelbaar met de tien potentiometers. Op deze manier kunt u de schakeling ijken voor de volgende frequenties:

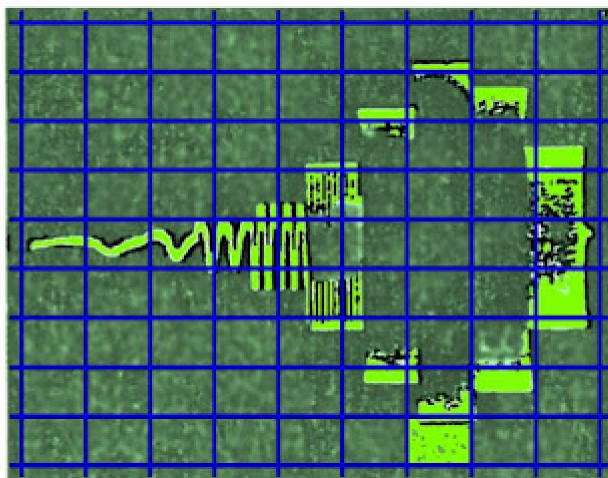
- 30 Hz.
- 60 Hz.
- 125 Hz.
- 250 Hz.
- 500 Hz.
- 1 kHz.
- 2 kHz.
- 4 kHz.
- 8 kHz.
- 16 kHz.

Deze frequenties liggen op een afstand van ongeveer een octaaf van elkaar en geven een mooie benadering van een logaritmische frequentie-as.
Met de schakelaar S2 kunt u kiezen tussen de multi-burst mode (onderste stand) of het genereren van een vaste frequentie (bovenste stand). In dat laatste geval kunt u met de draaischakelaar S1 de frequentie op een van de reeds beschreven waarden instellen. Deze tienstanden schakelaar verbindt een van de uitgangen van IC2 met de strobe-ingang van de CD4017. Daardoor gaat de teller stoppen met teller als de betreffende uitgang 'H' wordt, zodat de teller in die stand blijft staan en de oscillator de bij die stand horende frequentie genereert.



Een 'multi-burst' generator met tien uitgangsfrequenties. (© 2020 Jos Verstraten)

De tien instelpotentiometers zijn van elkaar gescheiden door tien silicium dioden, die onderlinge beïnvloeding voorkomen. Om over een dergelijk groot frequentiebereik te kunnen sweepen wordt de ICL8038 op een iets lagere spanning gevoed. Vandaar de twee dioden in serie met de voedingsaansluiting.
U kunt de schakeling afregelen door de omschakelaar S1 in de stand *'vaste frequentie'* te zetten en de draaischakelaar in de hoogste stand. Nu verdraait u de bij deze stand horende instelpotentiometer tot de ICL8038 een signaal met een frequentie van 16 kHz genereert. Nadien zet u de draaischakelaar in de op een na hoogste stand en verdraait de volgende potentiometer tot de frequentie gelijk is aan 8 kHz. Zo kunt u, stap na stap, de tien frequenties ijken. Uiteraard kunt u met R13 de duty-cycle zo goed mogelijk instellen en eventueel met de reeds bekende instelpotentiometers (die hier niet zijn getekend) de vervorming van de sinus minimaliseren.
Stel nu dat u het apparaat wilt gebruiken om de frequentieweergave van een bepaald blok van een LF-versterker op te meten. De uitgang van de generator wordt dan verbonden met de ingang van dit blok en de uitgangsspanning van het blok wordt aangesloten op uw scoop. Op het scherm verschijnt dan, na enig stoeien met de tijdbasis en de synchronisatie van de scoop, het beeld van de onderstaande figuur. Hieruit kunt u onmiddellijk afleiden dat het blok een soort banddoorlaat filter is met een centrale frequentie die rond 4 kHz ligt. De burst van 4 kHz (de derde laatste) is immers het hoogst.
Door de amplitudes van de diverse bursts te vergelijken kunt u bovendien vrij snel een inzicht krijgen in de verzwakking die het blok voor andere frequenties veroorzaakt.
Kortom, een *'multi-burst'* generator is gemakkelijk samen te stellen met een ICL8038 en kan een zinvolle aanvulling van uw instrumentarium zijn, zeker als u vaak met audio-schakelingen stoeit!



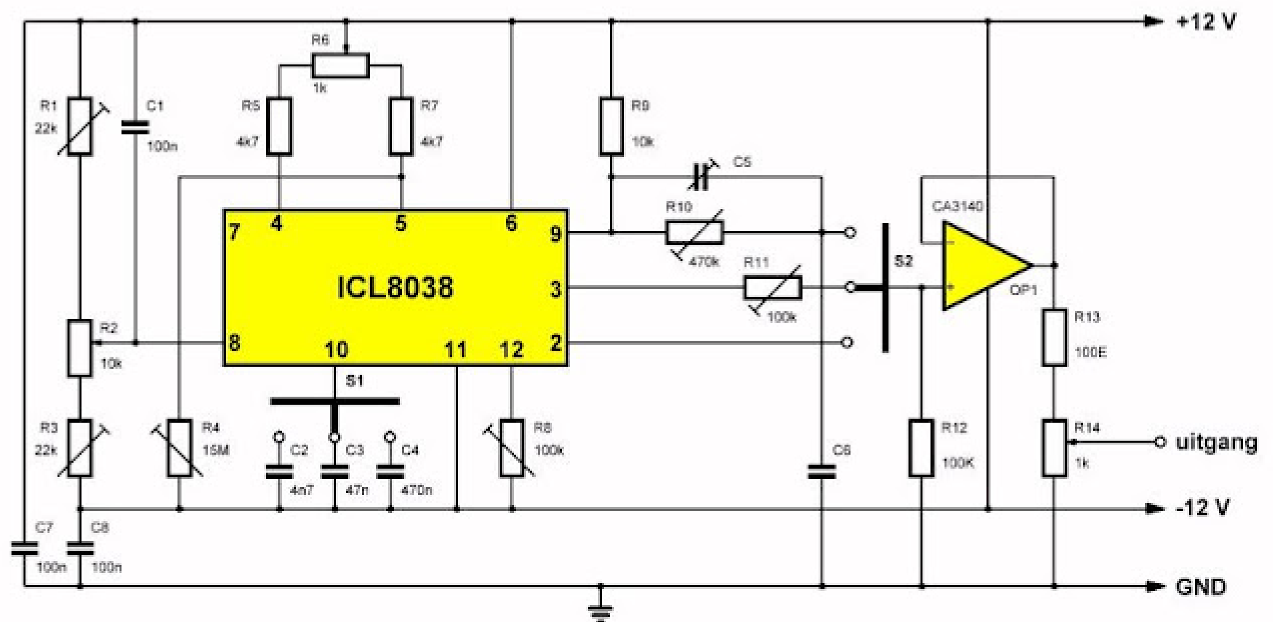
De frequentieweergave van een bepaalde LF-schakeling.
(© 2020 Jos Verstraten)

Een zeer eenvoudige functiegenerator
De allereenvoudigste functiegenerator voor het hobby-lab is getekend in de onderstaande figuur. De ICL8038 wekt hier in drie bereiken signalen op met frequenties tussen:

- 20 Hz en 200 Hz.
- 200 Hz en 2 kHz.
- 2 kHz en 20 kHz.

Het is dus een typisch LF-apparaatje, uitstekend bruikbaar voor tests van audioversterkers.
De werking van de schakeling zal, na alles wat reeds over de ICL8038 is geschreven is, wel duidelijk zijn. Met de schakelaar S1 schakelt u een van de drie condensatoren C2, C3 of C4 is het pad van de stroombronnen. Met de lineaire potentiometer R2 stelt u de frequentie in een van de drie bereiken in. Met de instelpotentiometers R1 en R3 kunt u de eindbereiken van de potmeter instellen op een verhouding van een op tien.
Door middel van de twee instelpotentiometers R10 en R11 in de uitgangen 3 en 9 kunt u de amplitudes van sinus, driehoek en rechthoek aan elkaar gelijk maken.
De twee condensatoren C5 en C6 kunt u eventueel in de schakeling opnemen om de stijg- en

daaltijden van de blokspanning te verbeteren. De waarde van deze onderdelen moet u experimenteel bepalen, want deze hangt af van de manier waarop u het schema omzet in een échte schakeling.



De allereenvoudigste bruikbare functiegenerator met slechts twee IC's.
(© 2020 Jos Verstraten)